

## オオワシ 2 号機軽量化機体の脚設計

著者	樋口 健, 勝又 暢久, 中尾 拓冶, 戸松 太暉
雑誌名	室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次報告書
巻	2017
ページ	82-87
発行年	2018-09
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00009850">http://hdl.handle.net/10258/00009850</a>

## オオワシ2号機軽量化機体の脚設計

○樋口 健（航空宇宙システム工学ユニット 教授）

勝又 暢久（航空宇宙システム工学ユニット 助教）

中尾 拓治（航空宇宙総合工学コース 博士前期2年）

戸松 太暉（航空宇宙システム工学コース 学部4年）

### 1. はじめに

オオワシ2号機の機械環境条件の緩和による機体軽量化の構造概念検討に対応するものとして、軽量化された機体に合致する脚構造を事前検討した。

### 2. オオワシ2号機の機体諸元変更と衝撃吸収脚設計条件

見直された機体諸元は、全長約 8.48 m、全幅約 2.4 m、胴体外径 0.3 m（一般部）、離陸重量約 270 kg、主翼面積約 2.15 m<sup>2</sup>である。機械環境条件の緩和による機体重量の目標値が 240 kg であり、3 脚重量の目標値が 30 kg である。

脚の設計条件としては、着陸進入速度 180 km/h、進入角約 3°、機体姿勢角 18°という厳しい条件でも確実な着陸を実現する衝撃吸収脚が要求される。満たすべき設計条件は、

- ① 着陸時の衝撃加速度が 3 G 以内に留まること
- ② 脚伸縮ストロークを 15 cm 以内に抑えること
- ③ 機体が着陸時に安定した挙動を示すこと（特に、バウンドしないこと）

であり、①が 6 G から 3 G に緩和された。主脚構造は、2015 年度の検討成果を受けて「姿勢角に合わせて傾けたトラス型主脚構造案」を採用した（図 1）。前脚構造は脚柱 1 本の構造とした（図 2）。先に接地する主脚ダイナミクスをシミュレーションすることにより、先ず主脚に適切なバネ係数と減衰係数を設定し、主脚に適切なバネ係数と減衰係数を使用して、引き続きシミュレーションを行って前脚に適切なバネ係数と減衰係数を設定する。

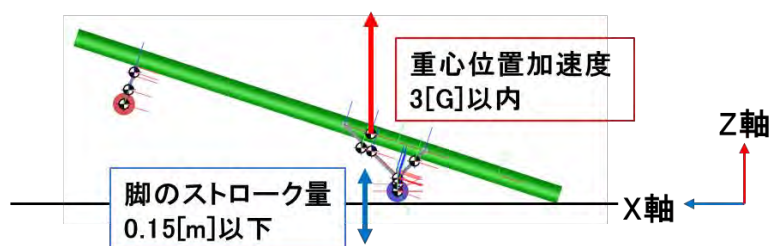


図 1 着陸進入接地条件

### 3. 着陸ダイナミクス解析手法と機体モデル

脚をモデル化し、MATLAB Simulink, SimMechanics を用いてダイナミクスシミュレーションを行った。脚形状、部材構成、部材断面積、バネ定数、減衰係数は 2015 年度及び 2016 年度の検討成果を用いた。脚モデルの簡単化のために脚ストラットは剛体棒とし、骨組構造の結合部は必要に応じて滑節と剛節を使い分けた。

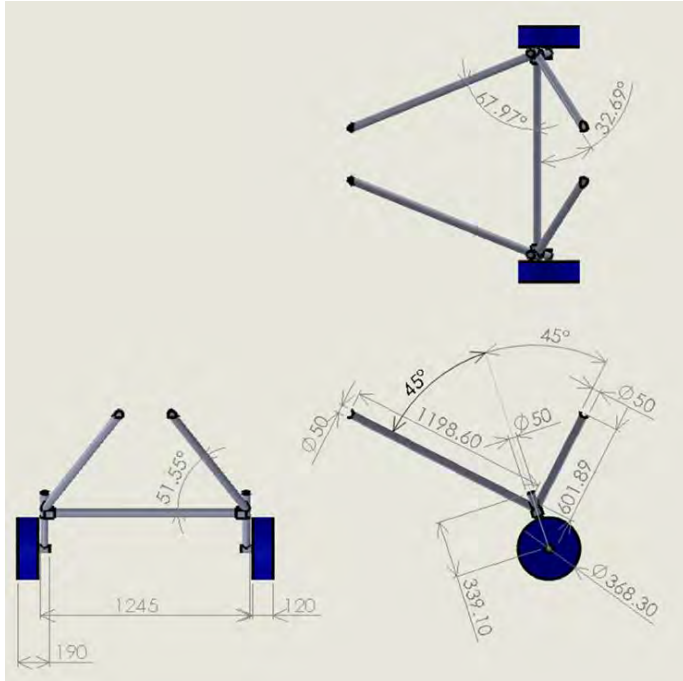


図2 主脚の構造

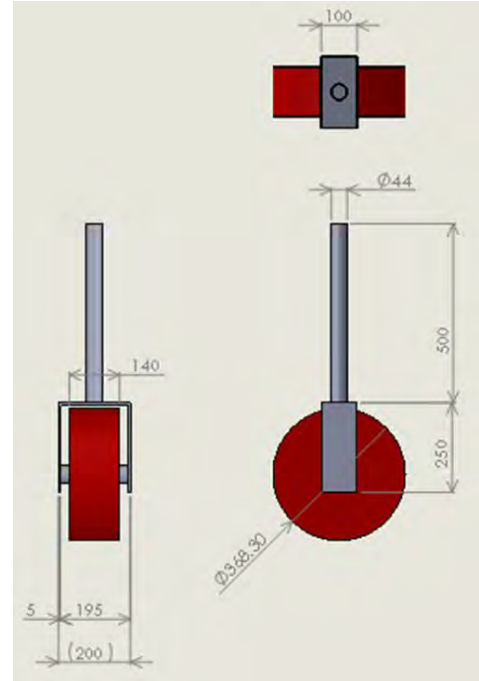


図3 前脚の構造

#### 3-1. 主脚緩衝装置のパラメータ設定

まず Simulink で、進入角  $3^\circ$  での沈下率  $2.62 \text{ m/s}$  になる初期高さ  $0.35 \text{ m}$  から姿勢角  $18^\circ$  で自由落下させて緩衝装置の選定を行ったが、成立しないことがわかったので、フレアを必ずかけることを前提として、沈下率  $1.71 \text{ m/s}$  になる初期高さ  $0.15 \text{ m}$  から自由落下させた。この沈下率は進入角  $2^\circ$  に相当する。

初期高さを  $0.15 \text{ m}$  の時の主脚の最大ストローク量が要求条件②内で、最大の  $0.15 \text{ m}$  になる主脚緩衝装置の弾性係数と減衰係数の組み合わせの選定結果を図4に示す。主脚タイヤ接地時の機体重心位置の垂直方向加速度最大値と、主脚タイヤのバウンド回数を併せて示す。解析ケース番号 3~9 の主脚緩衝装置の組合せで①の要求条件を満たす。解析ケース番号 1~8 で③の要求条件を満たす。よって、赤枠で示した解析ケース番号 3~8 のときに全ての要求条件を満たす。これは、主脚タイヤ接地時に発生する重心位置の垂直方向加速度が最も小さくなる、主脚最大ストローク量が  $0.15 \text{ m}$  になる主脚緩衝装置を選定したに過ぎないので、赤枠の主脚緩衝装置の組み合わせに対して減衰係数を固定して弾性係数を上げていき、今度は主脚タイヤ接地時に重心位置の垂直方向加速度が、①の要求条件内で最大の  $3 \text{ G}$  になる弾性係数を探した結果が図5である。図4の結果と合わせ、初期高さ  $0.15 \text{ m}$  で要求条件①~③全てを満たす主脚緩衝装置の選定結果を図5下の表にまとめる。

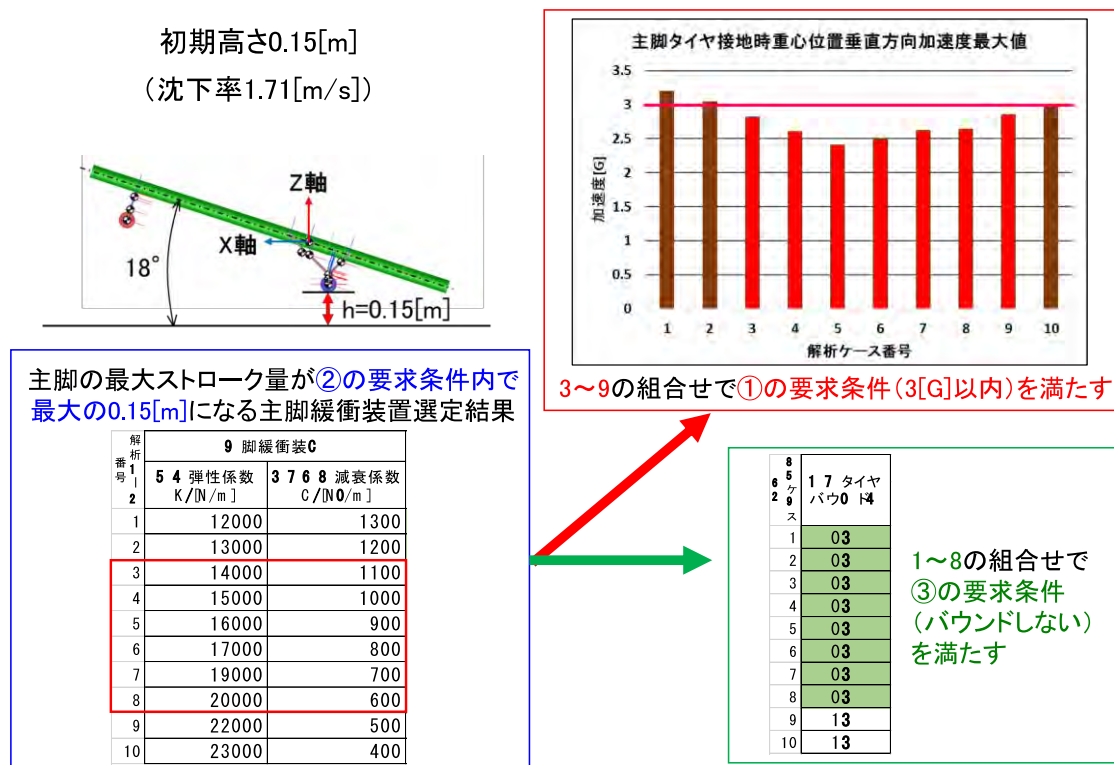
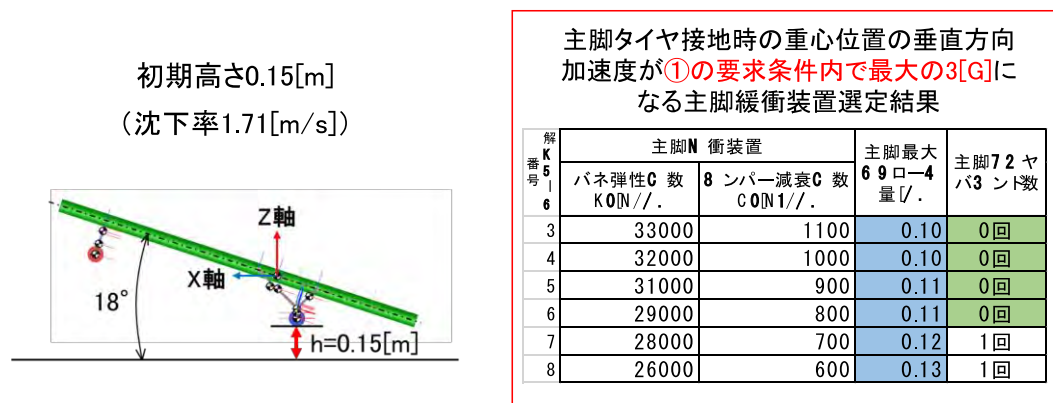


図4 主脚緩衝装置選定解析結果 1



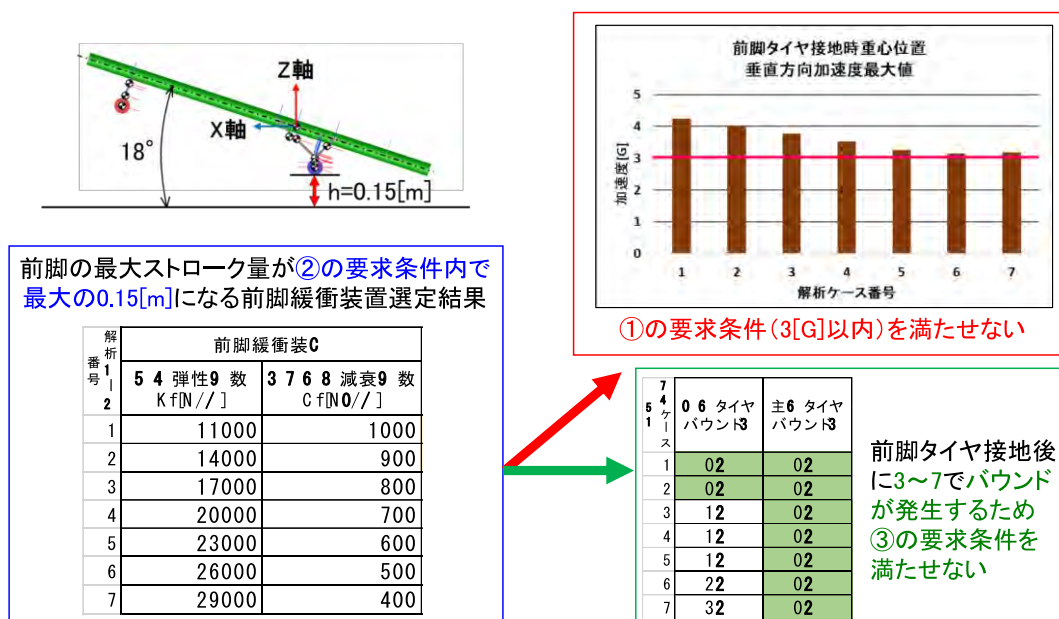
要求条件①～③全てを満たす主脚緩衝装置の選定結果

バネ弾性係数 K/[N/m]	ダンパC 減衰係数 C/[N0/m]	主K タ9 ヤ7 バウンド
14000～33000	1100	6 4
15000～32000	1000	6 4
16000～31000	900	6 4
17000～29000	800	6 4
19000～28000	700	バネ弾性係数大3 2 5 1 8
20000～26000	600	バネ弾性係数大3 2 5 1 8

図5 主脚緩衝装置選定解析結果 2

### 3-2. 前脚緩衝装置のパラメータ設定

主脚緩衝装置を選定できたので、そのパラメータを使って次に前脚緩衝装置の選定を行う。初期高さ 0.15 m、主脚緩衝装置が弾性係数 20000 N/m、減衰係数 1000 Ns/m の場合の、前脚の最大ストローク量が要求条件②内で最大の 0.15 m になる前脚緩衝装置の選定結果が図 6 である。前脚タイヤ接地時の重心位置垂直方向加速度最大値が①の要求条件を満たせない。また、解析ケース番号 3～7 ではバウンドが発生するため③の要求条件を満たせない。



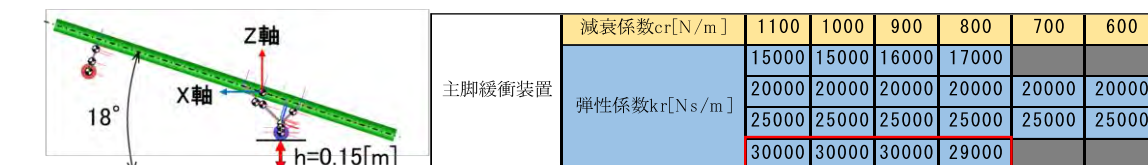
初期高さ0.15[m] (沈下率1.71[m/s])

主脚緩衝装置(弾性係数20000[N/m],減衰係数1000[Ns/m])の場合の例

図 6 前脚緩衝装置選定解析結果 1

そのため、次は主脚緩衝装置の弾性係数と減衰係数の組合せを図 7 上の表のように変化させて初期高さ 0.15 m の時の緩衝装置を選定した。その結果、赤枠で示した弾性係数と減衰係数の組合せの時には前脚タイヤ接地時に要求条件①を満たす組合せは存在したものの、前脚タイヤ接地後に前脚が大きくバウンドするため、要求条件③を満たせないことがわかった。

そこで、試みに主脚タイヤを地面に接地させた状態、つまり初期高さ 0 m、主脚緩衝装置の弾性係数 7000 N/m、減衰係数 2000 Ns/m で、姿勢角 18°をつけて垂直落下させた時の前脚緩衝装置の選定を行った。これによると、やはり前脚タイヤ接地時に要求条件①と②を満たす前脚緩衝装置は存在したものの、前脚タイヤ接地後に前脚が大きくバウンドするため③の要求条件を満たすことができないことがわかった (図 8)。

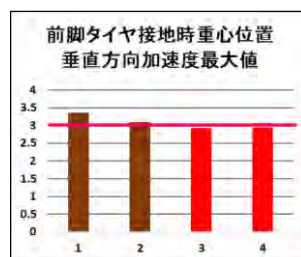


主脚緩衝装置(弾性係数30000[N/m],減衰係数1000[Ns/m])の場合の例

前脚の最大ストローク量が②の要求条件内で最大の0.15[m]になる前脚緩衝装置選定結果

解析番号	9 C 緩衝装置	
	4 3 弾性係数 $K_f$ [N/m]	2 6 5 7 減衰係数 $C_f$ [N/m]
1	20000	700
2	23000	600
3	26000	500
4	29000	400

3, 4の組合せでは①の要求条件(3[G]以内)を満たせる



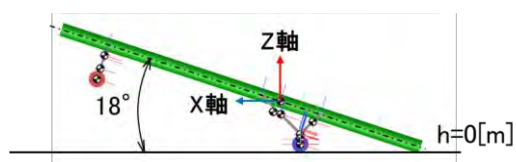
前脚タイヤ接地後にバウンドが発生するため③の要求条件を満たせない

4 ケース	前3 タイヤバウンド	主3 タイヤバウンド
1	1回	0回
2	1回	0回
3	2回	0回
4	2回	0回

初期高さ0.15[m] (沈下率1.71[m/s])

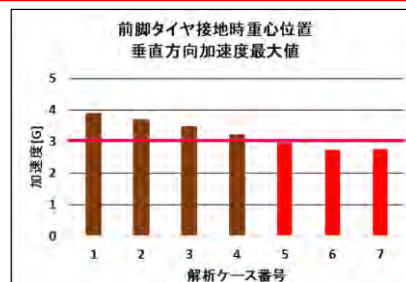
主脚緩衝装置(弾性係数と減衰係数の組合せ変化)

図7 前脚緩衝装置選定解析結果2



前脚の最大ストローク量が②の要求条件内で最大の0.15[m]になる前脚緩衝装置選定結果

解析番号	前脚緩衝装C	
	5 4 弾性9数 $K_f$ [N/m]	3 7 6 8 減衰9数 $C_f$ [N/m]
1	9000	1000
2	12000	900
3	14000	800
4	17000	700
5	20000	600
6	23000	500
7	26000	400



5~7の組合せでは①の要求条件を満たす

6 ケース	前5 タイヤバウンド
1	01
2	01
3	01
4	11
5	11
6	21
7	21

前脚タイヤ接地後に4~7でバウンドが発生するため③の要求条件を満たせない

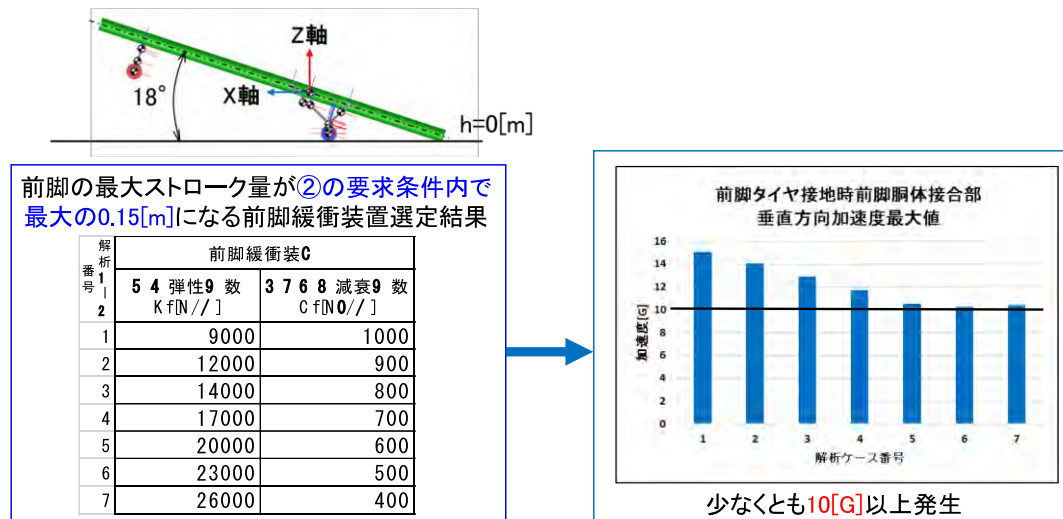
初期高さ0 [m] (沈下率0[m/s])

主脚緩衝装置(弾性係数7000[N/m], 減衰係数2000[Ns/m]) の場合の例

図8 前脚緩衝装置選定解析結果3



また、前脚の胴体接合部の垂直方向加速度では前脚タイヤ接地時に 10 G 以上発生することがわかった。主脚緩衝装置の弾性係数と減衰係数の組合せを、これ以外にも変化させて初期高さ 0 m のときの前脚緩衝装置の選定を行っても改善されなかった (図 9)。



初期高さ0[m]で主脚緩衝装置の組合せを変えても同様の前脚緩衝装置選定結果が得られた

初期高さ0 [m] (沈下率0[m/s])

主脚緩衝装置(弾性係数7000[N/m], 減衰係数2000[Ns/m])の場合の例

図 9 前脚緩衝装置選定解析結果 4

#### 4. まとめ

脚設計の当初の要求条件である、①機体重心位置の垂直方向加速度を 3 G 以内にする、②脚の衝撃吸収ストローク量を 0.15 m 以下にする、③機体が転覆や大きなバウンドしない、のうち、①と②の要求条件をかりうじて満たす主脚緩衝装置のパラメータ選定はできても、そのパラメータでは③の要求条件を満たすことができない。

姿勢角 18°で接地する着陸条件では、沈下率 0 m/s であっても、前脚タイヤ接地時に前脚胴体接合部では垂直方向加速度が 10 G 以上発生することが避けられない。

したがって、脚設計においては要求条件①と②を緩和してでもバウンドが発生しないようにするか、またはバウンドを許容する必要がある。